

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**
Hornicko-geologická fakulta
Institut hornického inženýrství a bezpečnosti

**VÝROBA KOKSU
COKE PRODUCTION**

bakalářská práce

Autor:

Aleš Polák

Vedoucí práce:

doc.Dr.Ing František Tichánek

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut hornického inženýrství a bezpečnosti

Zadání bakalářské práce

Student: **Aleš Polák**
Studijní program: B2111 Hornictví
Studijní obor: 2101R008 Hornické inženýrství
Téma: Výroba koksu
Coke Production

Zásady pro vypracování:

Úvod

1. Koksovací vlastnosti uhlí
 2. Příprava uhlí pro koksování
 3. Výroba koksu
 4. Vlastnosti koksu
- Závěr

Rozsah práce: 25 – 30 stran textu, 3 – 5 příloh

Seznam doporučené odborné literatury:


Tichánek, F.: *Tepelné zpracování nerostných surovin I*. ES VŠB Ostrava, 1991

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

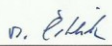
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr.Ing. František Tichánek**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 30.04.2014


prof. Ing. Pavel Prokop, CSc.
vedoucí institutu




prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

Prohlášení

Celou bakalářskou práci, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

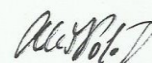
Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě 30. 4. 2014

Aleš Polák



ANOTACE

Bakalářská práce popisuje technologické postupy při výrobě koksu. První část je zaměřena na koksovací vlastnosti černého uhlí. V dalších částech jsou zachyceny jednotlivé etapy od přípravy vsázky až po výrobu koksu.

Studiem odborné literatury jsou v poslední části popsány vlastnosti vyrobeného koksu, vedlejší produkty koksování a jejich následných využití. Závěr práce je věnován vyhodnocení zjištěných informací.

Klíčová slova: uhlí, uhelná vsázka, vysokopecní koks, slévárenský koks, koksování

SUMMARY

The bachelor thesis describes technological processes of the production of coke. The first part is focused on the coking properties of coal. The subsequent parts depict the individual stages of coal production, from the preparation of coal charge to the production of coke.

The final part, which is based on the study of technical literature, describes the properties of produced coke, coking by-products and their subsequent use. The conclusion is dedicated to the assessment of the findings.

Keywords: coal, coal charge, blast-furnace coke, foundry coke, coking

Obsah

ÚVOD.....	1
1 KOKSOVACÍ VLASTNOSTI UHLÍ.....	2
1.1 Spékavost.....	3
1.2 Plasticita	4
1.3 Puchnutí uhlí.....	5
1.4 Rozpínavost uhlí	6
1.5 Smršťování uhlí	7
2 PŘÍPRAVA UHLÍ PRO KOKSOVÁNÍ.....	7
2.1 Příjem a vykládka uhlí.....	8
2.2 Příprava uhelné vsázky.....	8
2.2.1 Dávkování a míchání uhlí	9
2.2.2 Mletí uhelné vsázky	10
2.3 Doprava uhlí do uhelných věží	12
3 VÝROBA KOKSU.....	13
3.1 Vliv vlastností vsázky na koksování	13
3.1.1 Vlhkost vsázkového uhlí	13
3.1.2 Zrnitost uhlí	14
3.1.3 Hustota vsázky.....	14
3.1.4 Rychlost koksování.....	15
3.2 Obsazování pecí	16
3.3 Vytlačování koksu.....	17
3.4 Hašení koksu.....	18
3.5 Třídírny koksu	18
4 VLASTNOSTI KOKSU.....	19

4.1	Chemické vlastnosti koksu	21
4.1.1	Anorganické složky koksu	21
4.1.2	Hořlavina koksu.....	22
4.2	Fyzikálně mechanické vlastnosti koksu	22
4.2.1	Kusovitost a stejnoměrnost třídění	22
4.2.2	Mechanická pevnost koksu	23
4.3	Fyzikálně chemické vlastnosti koksu.....	23
4.4	Vlastnosti slévárenského koksu	24
ZÁVĚR.....		26
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK		
SEZNAM PŘÍLOH		

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

VK	- vysokopecní koks
SLK	- slévárenský koks
UVPK	- uhlí vhodné pro koksování
EU	- energetické uhlí
CRI	- Index reaktivity (Coke Reactivity Index)
CSR	- Pevnost koksu po reakci (Coke Strength after Reaction)
A^d	- Obsah popela
V^{daf}	- Obsah prchavé hořlaviny
W_t	- Veškerá voda
W^a	- Analytická voda
Dil_b	- Dilatace
SI	- Index puchnutí
Q_i^r	- Výhřevnost
S_d	- Obsah síry

ÚVOD

Výroba koksu propojuje těžbu uhlí s výrobou železa, litiny nebo kamenné izolace. Má významný podíl na odbytu uhlí. Koks se v hutnictví nepoužívá jen jako palivo, ale je především redukčním činidlem, které se účastní chemických reakcí při přeměně surové rudy na železo. V souvislosti s omezováním produkce železa došlo i k útlumu výroby koksu. Současná světová poptávka po železu však přináší opět příznivé podmínky pro rozvoj koksárenství.

Koks je pevný uhlíkatý zbytek vyrobený z nízkopopelového, nízkosirného černého uhlí, ze kterého jsou odstraněny prchavé složky v peci s omezeným přístupem kyslíku při teplotách kolem 1000 °C. Má výhřevnost 29,6 MJ/kg, v metalurgii jsou významné také jeho další vlastnosti. Především vysoký podíl uhlíku a málo nečistot. Při koksování vzniká kromě samotného koksu řada vedlejších produktů, které jsou významnou surovinou pro chemický průmysl. Během koksování je zachytáván koksárenský plyn, z něhož jsou dále oddělovány jednotlivé chemické výrobky. Nejhlavnější z nich jsou koksárenský plyn, dehet, benzol, síran amonný a pevná a kapalná síra.[9]



Obrázek č. 1: Koksovna Svoboda

Kvalitní koks nelze vyrobit z jednoho typu uhlí. V koksárenství platí nepřímá úměra. Kvalitnější koks se vyrobí například z šesti až osmi druhů uhlí průměrné kvality, než ze tří druhů špičkových parametrů. Uhlí má proměnné vlastnosti a ani z různých míst jednoho dolu není nikdy úplně stejné. Je přitom vyžadováno, aby koks měl vlastnosti co nejstabilnější. Proto je potřeba co nejvíce druhů uhlí vhodných parametrů.

1 KOKSOVACÍ VLASTNOSTI UHLÍ

Koksovateľnosť je schopnosť uhlí procházet v určitém teplotním rozmezí plastickým stavem, během něhož se (za současného uvolnění části uhelné substance) změní struktura a chemické složení. Konečným výsledkem těchto změn je vznik kvalitativně nového druhu paliva - koksu. Koksovateľnosť je dána stupněm prouhelnění a petrografickým složením uhlí. Tyto vlastnosti určují, zda je uhlí vhodné pro použití v koksárenství (tzv. UVPK), nebo v energetice (EU).

U UVPK se sledují zejména hodnoty tzv. koksovacích parametrů, tj.:

- Plasticita
- Dilatace (Dil_b)
- Index puchnutí (SI)
- Obsah prchavé hořlaviny (V^{daf})

Podle toho, jakých hodnot uvedených parametrů uhlí dosahuje, lze je dělit do různých typů.

Koksové uhlí má obsah prchavé hořlaviny 17-26 %. Je nejlépe spékavé, proto je vzácným druhem černého uhlí. Při koksování vzniká koks nejlepší kvality, velmi hutný a pevný. Protože je z koksárenského hlediska nejdražším druhem černého uhlí, nekoksuje se nikdy samostatně, ale používá se jako přísada k uhlí mladším a méně spékavým. Jeho poměrně malá přísada, zejména k uhlí plynovým, zlepšuje vlastnosti vyrobeného koksu.

Žírné uhlí má obsah prchavé hořlaviny 26-33 %. Je velmi dobré koksárenské uhlí, které dává i při samotném koksování koks velmi dobré jakosti. Přidáváním k uhlí mladšímu se zlepšuje jakost koksu.

Plynové uhlí se dělí do dvou podskupin. Lesklé s obsahem 32-38 % prchavé hořlaviny a matné s obsahem nad 35 % prchavé hořlaviny. Samostatně koksovat plynové uhlí není vhodné, protože vzniká koks méně pevný a drobnější.

Pálavé uhlí má obsah prchavé hořlaviny nad 35 %. Je to nejméně prouhelněný druh černého uhlí. Nekoksuje se nikdy samostatně, ale přidává se k jiným lépe koksovacím druhům uhlí. V dnešní době se už nepoužívá, protože při karbonizaci vzniká málo pevný koks, který je drobivý.

Koksovatelnost uhlí je určena tzv. obchodní skupinou mezinárodního klasifikačního systému, který jednotlivá uhlí zařazuje podle jejich koksovatelnosti do skupin, označených římskými číslicemi I až VI.

Při použití uhlí v energetice (EU) se sleduje zejména:

- Výhřevnost (Q_i^r)
- Obsah síry (S_d)

1.1 Spékavost

Spékavost je schopnost uhlí spéci se při koksování v pevný koks. Při posouzení této vlastnosti si musíme především uvědomit, že se koksárenská směs uhlí vsazuje do pecí ve formě jemně mleté. Směs obsahuje více než 90 % podílu pod 3 mm při pýchovaném provozu a 80 % pod 3 mm při provozu sypném. K tvorbě velkých a pevných kusů koksu dochází teprve spečením uhlí při vlastní karbonizaci. Proto je určitý stupeň spékavosti, alespoň pokud se týká černých uhlí, první podmínkou jeho vhodnosti pro výrobu pevného hutnického (metalurgického) koksu.

Spékavost uhlí není určena nějakou jednoznačnou reakcí, ale je výslednicí různých a složitých fyzikálněchemických pochodů při koksování, které probíhají do teploty asi 500°C, která je hranice tvorby polokoksu. Uhlí se spéká tím, že část jeho hmoty měkne v tepelném rozmezí, zvaném plastickým stavem, přičemž smáčí jiné netající uhelné složky. Při dalším zvýšení teploty obsahuje zbytek po tepelném rozkladu tmelící hmotu, která stmelí všechny částice v nový celek, polokoks, který pak dalším zvyšováním teploty přechází v koks.

Pro stanovení spékavosti existuje mnoho zkoušek. V provozu koksoven je za zkoušku spékavosti považována i obvyklá koksovací kelímková zkouška, určená pro stanovení obsahu prchavé hořlaviny a povahy koksového koláčku.[3]

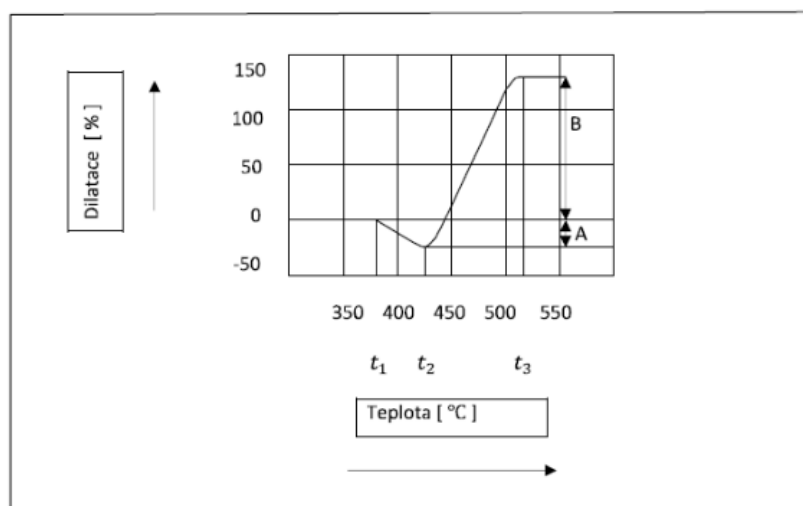
1.2 Plasticita

Podmínkou spékavosti je plasticita uhlí. Některé složky uhlí při zahřívání měknou nebo tají, přičemž smáčejí netající složky. Uhlí, které je při koksování rozemleto, tím přechází do polotuhého plastického stavu a tvoří více nebo méně stejnorodou taveninu. Při dalším zvyšování teploty tavenina tuhne a vytvoří spečený polokoks, z kterého dalším odplyněním vznikne koks. Plasticita se projevuje při teplotách 350 - 500°C.

Čím větší je plastické pásmo mezi počátkem a koncem plasticity, tím má uhlí větší spékavost, protože uhelná hmota podržuje tvárnost a má více času k protavení. Šíře plastického pásma je u každého druhu uhlí různá. Nejširší plastické pásmo mají uhlí středně prouhelněná s obsahem prchavé hořlaviny 24 - 28 %.

Zkouška plasticity spočívá v tom, že se briquetka zkoušeného uhlí zahřívá v trubce. Objemová změna se zařízením přenáší na registrační pásku. Vzniklá křivka je charakteristická pro koksovací vlastnosti. Pokles křivky pod nulu se nazývá kontrakce uhlí, vzestup křivky se označuje jako dilatace.[4]

Schéma č. 1: Základní typ dilatometrické křivky



Na dilatometrické křivce lze určit:

Kontrakce A, což je zmenšení objemu uhlí, které je způsobena tajícími složkami. Ta se projevuje poklesem křivky pod nulovou linii (na rozdíl od smrštění, které se vztahuje na koks, a ukázalo by se při teplotách nad 500°C).

Dilatace B, zvětšení objemu puchnutím uhlí, křivka stoupá nad maximální kontrakci, kde t_1 je teplota počátku kontrakce (plasticity), t_2 je teplota konce kontrakce a začátek dilatace a t_3 je konec dilatace (plasticity).

Podle mezinárodní klasifikace se černé uhlí podle průběhu křivky zařazuje do skupin:

1. skupina: Uhlí, které nemá kontrakci ani dilataci, jeho křivka zůstává na nulové linii. Je to uhlí nekoksující (antracit).
2. skupina: Uhlí, které mají kontrakci, ale dále nepuchnou je velmi slabě koksující (uhlí pálavá).
3. skupina: Uhlí, které po kontrakci puchnou nanejvýš do nulové linie je slabě koksující uhlí.
4. skupina: Uhlí, které po kontrakci puchnou nad nulu a mají dilataci 0-50%. Uhlí je středně koksující.
5. skupina: Uhlí s dilatací 50-140% je dobře koksující uhlí.
6. skupina: Uhlí s dilatací nad 140% je výborně koksující uhlí.[3]

1.3 Puchnutí uhlí

Uhlí v plastickém stavu se začíná rozkládat, přičemž vznikají plyny. Bublinky plynů způsobují zvětšování objemu uhlí. Po dalším zahřívání a ztuhnutí dostává koks pórovitou strukturu. Puchnutí uhlí je volné zvětšování objemu při karbonizaci, při kterém nevzniká tlak na okolí, např. stěny koksovací komory. Příčinou puchnutí je plastický stav a současný vývoj plynů. Při dilataci se sleduje průběh objemových změn do teploty asi 500°C, kdežto puchnutí udává konečný stav objemových změn, které se projevují na vytvořeném koksu.

Uhlí s malou plasticitou jsou zároveň slabě puchnoucí. Naopak uhlí přecházející do taveniny jsou puchnoucí silně. Stupeň puchnutí se zvyšuje, když hlavní vývoj plynů nastává v období plastického stavu a snižuje se, když se plyny uvolňují před plastickým

stavem nebo po něm. Ze silně puchnoucího uhlí vzniká koks dobře spečený, z nepuchnoucího uhlí je koks špatné jakosti.[4]

Stanovení indexu puchnutí: Z laboratorního vzorku zrnění pod 3 mm se odebere navážka 150 g, rozemele se tak, aby obsah zrn 0,1 - 0,2 mm byl minimálně 40 %. Vzorek se promíchá, do keramického kelímku se dá navážka 1,00 - 1,01 g, povrch se urovná poklepem 12 krát o tvrdou podložku za otáčení kelímku. Kelímek se umístí na držák, zakryje víčkem, zapálí se plamen hořáku a zahřívá se na 150 sekund. Po zahřátí se vypne plamen a kelímek se nechá vychladnout. Profil koksového koláčku se srovnává s obrysy standardních norem (normalizovaných tvarů), které jsou číslovány od 1 do 9 ve stupnici s polovičními čísly, takže je celkem 17 normalizovaných tvarů.

číslo kódu	index puchnutí (SI)	označení koksovateľnosti
0	0 – 0,5	nekoksující
1	1 – 2	slabě koksující
2	2,5 – 4,0	středně koksující
4	4,5 – 9,0	silně koksující

Tabulka č. 1: Označení uhlí podle indexu puchnutí

1.4 Rozpínavost uhlí

Některé druhy uhlí, hlavně koksové, zvětšují při karbonizaci svůj objem a vyvíjí tlak na okolí. Při koksování rozpínavých uhlí jsou potíže při vytlačování koksu (tzv. těžký chod pecí) a je nebezpečí poškození stěn komor, protože v poslední fázi dochází k nedostatečnému smrštění koksu.

Rozpínavost je způsobena, stejně jako puchnutí, vývinem plynů, avšak v uhelné hmotě, která je v polotuhém, plastickém stavu. V dnešní době se však nekoksují rozpínavé koksové uhlí samostatně, proto je nebezpečí z následku rozpínavosti malé.[4]

1.5 Smršťování uhlí

Jev probíhající kolem 500°C se nazývá smršťování uhelné hmoty. Zmenšování objemu neboli smršťování již pevné hmoty polokoksu, vzniká dalším odplyňováním a snižováním obsahu prchavé hořlaviny z 5 - 10 % v polokoksu až na malý zbytek, který zůstává v koksu (asi 1%).

Uhlí plynová se smršťují více než uhlí žírná nebo koksová. Proto z uhlí plynového vznikají tenké kusy koksu, které se snadněji lámou, a díky tomu je koks drobnější. Smrštění koksu se dále projevuje nejen odstupem koksu od stěn komory, tedy ve směru vodorovném, ale ve směru svislém, při kterém se zvětšuje výška sběrného prostoru pro odchod karbonizačního plynu.

Smrštění, a tím i kusovitost koksu, je možné ovlivnit provozními podmínkami. Vyšší teplotou a vyšší rychlostí koksování se smršťování zvětšuje. Proto se při výrobě velkých kusů slévárenského koksu používá nižších teplot a širších komor, ve kterých je rychlost koksování nižší.[4]

2 PŘÍPRAVA UHLÍ PRO KOKSOVÁNÍ

Vsázka pro výrobu koksu je uhelná směs, ze které vznikne koks požadované kvality. Při výběru uhlí se vychází z požadavků na kvalitu koksu. Pro výrobu koksu se používá několik druhů uhlí různé koksovatelnosti. To umožňuje využít ve vsázce kromě dobře koksuujících druhů i druhy méně spékavé.[6]

Podle vlastností jednotlivých druhů uhlí se namíchá směs s přesností jednotlivých komponent v řádech jednotek procent. Uhlí se pomele v mlecím zařízení na vhodnou zrnitost. Uhelná směs se ještě homogenizuje v míchacím zařízení, aby byla zaručena stálá kvalita koksu. Následně se směs natáhne do uhelné věže, kde je připravena pro koksování.

Tento velmi důležitý technologický uzel má své vnitřní uspořádání závislé na celkové koncepci a umístění koksovny. V obecném případě se nazývá *Uhelná služba*.

2.1 Příjem a vykládka uhlí

Prané uhlí dovážené na koksovnu po železnici v samovýklopných vagónech, je skládáno do hloubkového zásobníku, který je shora zakrytý roštěm. Tento rošt zabraňuje cizorodému materiálu, jako jsou např. desky a gumy propadnout do tohoto zásobníku. Zásobník může být přizpůsobený tak, že se do něj může skládat více různých druhů uhlí.

V zimě při špatných povětrnostních a klimatických podmínkách, kdy uhlí namrzá a nejde z vozů skládat, je nutné vagóny zatlačit do rozmrazovací haly, která je součástí uhelné služby. Při teplotě do 60°C se ponechají na několik hodin prohřát a následně složit.

Z hloubkového štěrbinového zásobníku je uhlí vyhrnovacím zařízením vyhrabáváno na pás. Uhlí postupuje přes soustavu pásů a přesypů na zavážení druhových zásobníků, kde se skladuje. Samozřejmostí je každý zavážený druh uhlí ovzorkovat a v laboratoři kontrolně stanovit vlastnosti tohoto uhlí.

2.2 Příprava uhelné vsázky

Uhelná vsázka, určená pro karbonizaci, je tvořená z několika uhelných typů, podle zvolené technologie přípravy. Je nutné každou z použitých komponent co nejpřesněji dávkovat, zabezpečit smíchání s ostatními komponenty a vytvořit tak co nejstejněměnější směs.

Při přípravě uhelné vsázky pro slévárenský koks je nejdůležitějším parametrem uhlí nízký obsah prchavých hořlavin a co největší plasticita. Nejvýznamnější druh uhlí ve vsázce je uhlí koksové, bez kterého výroba slévárenského koksu není možná. Pro lepší kvalitu a jakost koksu je nutné do směsi přidávat ostrídlo. Ostrídla jsou látky, které se v rozmezí teplot 300 - 500°C, kdy uhlí přechází do plastického stavu, zásadně nemění. Při jemném mletí (zrno pod 1mm) a dokonalém rozptýlení ve vsázce, tyto látky zlepšují pevnost a kusovitost koksu. Je to proto, že ostřením se zmenšuje trhlinatost koksu. Mohou to být látky uhelné (antracit) nebo neuhelné (koksový prach).

U vysokopecního koksu se při přípravě vsázky sleduje obsah inertinitu v jednotlivých druzích uhlí. Čím menší je tento obsah, tím je uhlí do vsázky použitelnější. Pro přípravu vysokopecního koksu se do vsázky nemusí přidávat uhlí koksové.

Stačí jen uhlí žírné popř. plynové v závislosti na požadovaných hodnotách pro vysokopeční koks. Koksové uhlí ve vsázce být může, ale k jeho ceně je to neekonomické.

2.2.1 Dávkování a míchání uhlí

Podmínkou stejnoměrného mletí a míchání, využití výkonů mlýnů a všech dopravních zařízení, je nepřetržité (kontinuální) podávání uhlí z druhových zásobníků. Uhlí, mající větší vlhkost (kolem 10%), zůstává v zásobnících viset a tvoří klenby, které zabraňují rovnoměrnému vynášení uhlí. Proti vytváření kleneb v komorách se používají vzduchová děla, která při nepřítomnosti uhlí na vážícím páse vynášecího zařízení, uhlí automaticky shodí. V případě, že komory tento systém nemají, musí být přítomna obsluha vynášení, která uhlí, tvořící klenbu, za pomoci vzduchu shodí. Rychlost pásového dávkovače se reguluje většinou přes frekvenční měnič. Pro výrobu slévárenského koku se do směsi navíc přidává ostřidlo, které se míchá s uhlím a společně homogenizuje v míchacím zařízení, kde je skrápěno vodou a tenzidem. Uhlí vsázka putuje přes soustavu pásů a přesypů, ve kterých se promíchává na mlýnici. Po rozemletí uhlí se jemná vsázka dále homogenizuje v míchacím zařízení.

Míchání různých druhů uhlí, často navzájem svou koksovatelností značně odlišných, souvisí s mletím uhlí, bez rozdílu, zda je zařazeno před ním nebo za ním. Míchání uhlí je nejen prostředkem pro dosažení koku žádaných fyzikálních vlastností, ale zejména prostředkem umožňujícím i přísadu méně koksujících uhlí, nevhodných pro samostatné koksování. Z některých druhů méně vhodných uhlí se dá za přídatku poměrně malého podílu koksového nebo žírného uhlí vyrobit dobrý metalurgický koks. Naproti tomu jsou možné případy, kdy se přísadou nekoksujících (např. pálavých) uhlí do směsi dobře koksovatelných podstatně nezhorší jakost koku. Díky tomu se šetří dobře koksující uhlí.

Míchárny vyhovují plně svému účelu jen tehdy, dosáhnou-li dokonalého homogenního smíšení všech složek uhlí, tvořících směs. Promíchání musí být tím lepší, čím větší jsou rozdíly koksovatelnosti jednotlivých druhů uhlí. Proto je míchání druhů uhlí

navzájem málo odlišných snadnější než míchání rozdílných typů uhlí. Mísitelnost uhlí je tím lepší, čím je uhlí sušší a drobnější.

Dokonalost, popřípadě stupeň promíšení je možno kontrolovat občasným odebráním menších vzorků směsi a zjišťováním některých typických vlastností, kterými se od sebe jednotlivé druhy odlišují. Může to být obsah prchavé hořlaviny, obsah vody, obsah popela apod. Při ideálním promíchání by vzorky měly mít stejné složení za předpokladu, že ve zkoušeném intervalu nedojde ke změně složek. Čím vyšší jsou rozdíly ve složení jednotlivých vzorků, tím horší je stupeň promíšení.

2.2.2 Mletí uhelné vsázky

Při vlastní přípravě uhelné vsázky je možno používat několika způsobů, které jsou charakterizovány způsobem mletí.

- Mletí hromadné (kolektivní) - Celá vsázková směs se mele společně. Tento způsob nemůže vhodně využívat vlastností uhlí, protože některé složky jsou mlety zbytečně jemně, naopak tvrdé složky, které by měly být mlety jemněji, jsou mlety hrubě.
- Mletí diferenční - Při tomto způsobu mletí se každý druh uhlí mele samostatně a případně na různou zrnitost. Tím se lépe využívá vlastností uhlí a zlepšuje jakost koksu. Používá-li se ostridel, musí se tato mlít co nejjemněji, zpravidla pod 1 mm.
- Mletí kontrolované - Je to opakované mletí nadsítného uhlí, které vzniká při třídění šetrně mletého uhlí na sítích o propadu 2 - 5 mm. Kontrolované mletí může být buď jednorázové tím, že nadsítné prochází zvláštním mlýnem a celý mletý produkt se přidá k podsítnému, nebo postupné (v okruhu) tím, že se nadsítné trvale vrací před mlýn a třídící síto.
- Selektivní mletí - Zde se uplatňuje postupné kontrolované a diferenční mletí. Je považováno za nejdokonalejší způsob přípravy vsázky. Touto přípravou lze dosáhnout dobré jakosti koksu při poměrně malé spotřebě koksového uhlí.

- Mletí šetrné - Je charakterizováno malým podílem nejjemnějších zrn (pod 0,2 mm). Dosahují se vhodným mlecím zařízením (odrazové mlýny), kdy se neotírají zrnka uhlí. Šetrné mletí souvisí také s kontrolovaným mletím, při němž se jemné podíly předem třídí a neprocházejí mlecím zařízením.
- Mletí jemné - Vyznačuje se malým podílem největších zrn. Dosahuje se mlecím zařízením omezujícím výstup velkých zrn (kladivové mlýny).

V koksovnách se nejvíce používají kladivové mlýny o výkonu až 200 t/h, nebo odrazové mlýny pro jejich šetrnější mletí a výkony až 400 t/h. Před vstupem uhlí do mlýnů jsou nad pásy magnetické odlučovače železa, aby nedošlo k rozbití mlecího zařízení.



Obrázek č. 2: Kladivový mlýn

Uhlí se vpouští do mlýna vrchním otvorem a je rozmělněováno jednak nárazem odraženého uhlí o litinovou desku a konečně i nárazem na rošty, kterými rozdrčené uhlí propadáá. Čím menší je vzdálenost mezi kladivy a roštem a čím jsou menší otvory v roštech, tím menší je zrno rozdrčeného uhlí. Proto jsou mlýny zařízené tak, že je možno přitahovat rošty stavěcím zařízením, a tím regulovat v jistých mezích jemnost mletí. Rozemletá vsázka musí mít požadovanou zrnitost. Ta se kontroluje odpovědnou osobou a laboratorním rozsevem odebíraných vzorků.

2.3 Doprava uhlí do uhelných věží

Uhlí prošlé přípravou se dopravuje do uhelných věží dopravními pryžovými pásy. Všeobecnou nevýhodou pásů je, že jejich sklon je omezen a je závislý na sypkosti uhlí. U praného uhlí je tento sklon asi 25° , takže k dopravě do uhelných věží vysokých až 50 m je potřeba velké dopravní délky.

Dopravní pásy pro vsázkové uhlí jsou upraveny v krytých šikmých mostech. Celý systém dopravy, včetně přesypů, rohových stanic, automatických vzorkovačů apod. je svázán s elektrickým blokováním pohonů, které vypíná celý systém při jakékoliv poruše a tím se zabraňuje závalu uhlí v místě vzniklé poruchy.

Uhelné věže u koksárenských baterií jsou obvykle společné pro dvě baterie a pojmu až dvoudenní spotřebu uhelné vsázky. Při pýchovacím provozu jsou věže umístěny mimo osu baterie na tzv. strojové straně v ose dráhy pýchovacího a vytlačovacího stroje. Při provozu sypném jsou věže upraveny tak, aby pod ně mohl podjíždět plnicí vůz, tedy v ose baterie. Ve spodní části uhelné věže jsou betonové stěny zešikmeny a mají několik řad výpustí. Výpusti mají plochá nebo segmentová šoupátka pro vypouštění uhlí z věží, otvírají se ručně, stlačeným vzduchem nebo elektricky.

Při uskladňování uhelné vsázky ve věžích je důležité, aby nedocházelo k segregaci uhlí podle zrnitosti, což je nevídané zejména při pýchovacím provozu, protože snižuje soudržnost pýchovaného bloku. Proto je nutné uhlí stejnoměrně rozdělovat po celém průřezu věže ve vrstvách pokud možno vodorovných a zároveň na spodu věže stejnoměrně odebírat.

3 VÝROBA KOKSU

Koksování probíhá při teplotách 1050 – 1150 stupňů. Stěny postupně zahřívají masu uhlí, které se při teplotách do 100°C, kdy uniká vodní pára, vysuší. Při teplotách 250 – 300°C začíná rozklad uhelné hmoty, při 350 – 400°C přechází uhlí do plastického stavu, kdy je tekuté a intenzivně se odplyní. U obou stěn vznikají plastická pásma, široká podle druhů uhlí 10 - 30 mm, která postupují rychlostí 10 - 20 mm/hodinu ke středu komory. Při teplotách 450 – 500°C končí plastický stav i hlavní odplynění a tvoří se polokoks. Zvyšováním teploty nad 500°C již dochází ke konečnému odplynění, smršťení uhelné hmoty a k vytvoření koksu. Ve středu komory se obě plastická pásma setkávají, ale nespojují se, takže zde vzniká plošná mezera, neboli šev, který rozděluje koks na dvě části, což je patrné při vytlačování koksu. Při rovnoměrném ohřevu je šev přesně uprostřed komory. Koksování se považuje za ukončené, když přesáhne teplota ve švu 950°C, u stěn až 1150°C.[1]

3.1 Vliv vlastností vsázky na koksování

Nejdůležitější provozní podmínky mající vliv na jakost koksu jsou kromě koksovacích vlastností uhlí tyto vlastnosti:

3.1.1 Vlhkost vsázkového uhlí

Vzhledem k tomu, že všechny druhy černého uhlí používané pro koksování prošlo vodní úpravou, obsahuje prané uhlí podstatně vyšší obsah vody. Vlhkost upraveného koksovatelného uhlí závisí na dokonalosti úpravy, zrnitosti a odvodňovací době. Dobře odvodněné jemnozrné prané uhlí zrnitostí pod 10 mm obsahuje 8 až 10% vody, hrubozrné uhlí nad 10 mm asi 5% vody.

Z energetického hlediska je voda v uhlí složkou nevítanou, při koksování je však určitý obsah vody ve vsázkovém uhlí nutný. Voda zabraňuje prášení uhlí, což zpříjemňuje pracovní prostředí při přípravě uhlí (míchání a mletí) a při obsazování pecí. Vhodný obsah vody má příznivý vliv na výtěžek chemických produktů koksování a na jakost koksu.

Příliš vysoký obsah vody prodlužuje koksovací dobu, zmenšuje výkon pecí, vodní pára v koksárenském surovém plynu ztěžuje chlazení plynu a zvyšuje množství čpavkové vody, což zvyšuje spotřebu tepla při jejím zpracování. Při sypném provozu je ideální obsah vody asi 6 až 8%, pýchovaný provoz vyžaduje kvůli soudružnosti pýchovaného bloku uhlí o něco vyšší obsah vlhkosti, a to asi 9 až 10%.

3.1.2 Zrnitost uhlí

Vhodné zrnitosti uhlí, která je nutná pro tvorbu hutnického koksu žádané pevnosti a stejnoměrné jakosti, se dosahuje mletím v mlýnech různých typů. Stupeň mletí má přímý vliv nejen na jakost, ale i na sypnou váhu uhlí při provozu sypném, a tím na výkon pecí. Čím jemněji je uhlí mleto, tím je sypná váha za jinak stejných podmínek menší, je ovšem závislá i na vlhkosti uhlí. Při pýchovaném provozu ustupuje vliv zrna na hustotu vsázky do pozadí, protože zde působí mechanické síly pýchování. Mletí na hrubší zrna vede naproti tomu k možnosti nevídané segregace vsázky podle velikosti zrn v uhelných věžích a způsobuje, že minerální součásti uhlí nejsou dokonale rozptýleny. Větší zrna způsobuje nestejnou jakost koksu, a je proto nevídané.

Pýchovaný provoz vyžaduje jemnější mletí, a to z důvodu soudržnosti pýchovaného bloku. Podle posledních zkušeností má být při pýchovaném provozu dosaženo jemnosti mletí nejméně 90 % podílu pod 3 mm. U provozu sypného se mele většinou na zrna ve velikosti asi 80 až 85 % pod 3 mm.

3.1.3 Hustota vsázky

Pod pojmem hustota vsázky se rozumí v koksárenské terminologii sypná váha, vyjádřená v kg uhlí na 1 m³. Udává se buď na vlhké, nebo suché uhlí. Pro výkon resp. množství koksu vyrobeného z jedné náplně pece je směrodatná sypná váha přepočtená na suché uhlí. Větší zahuštění vsázky zvyšuje náplň pece a zvyšuje současně i výkon pece, protože koksovací doba neroste se zahuštěním vsázky úměrně, ale v poměru nižším. Kromě toho větší zahuštění vsázky, zejména u hůře spékavých uhlí, zlepšuje jakost koksu. Je snaha proto dosáhnout co největšího zahuštění vsázky.

Zahuštění vsázky pēchováním je nejúčinnějším způsobem zahušťování, protože se jím dá dosáhnout zahuštění až o 40 % objemu (na sypnou váhu až 1100 kg uhlí na m³). Pēchování se provádí pēchovacími stroji a vsunutím upēchovaného bloku do pece ze strany.

Účinek pēchování se neprojevuje na pevnost koksu u všech uhlí stejně. Dobré koksárenské směsi s vyšším obsahem koksového a žírného uhlí, které dávají i při provozu sypným dostatečně pevný koks se nepēchují, protože jejich pēchováním se zpravidla pevnost koksu znatelně nezvyšuje. Nepatrné zlepšení jakosti koksu není vyváženo poměrně drahým a složitým provozem a vyššími investičními náklady. Výjimkou je výroba slévárenského koksu, kdy se pēchováním dosahuje žádoucí husté struktury a malé pórovitosti koksu. Naproti tomu se dosahuje pēchováním uhlí hůře spékavých, zejména některých uhlí plynových, která se svými vlastnostmi blíží pálavým uhlím, zpravidla značného zlepšení pevnosti a jiných fyzikálních vlastností koksu. Koksováním uhlí podřadných koksovacích vlastností, umožňuje pēchování výrobu použitelného metalurgického koksu, která by jinak bez tohoto způsobu nebyla možná.

Pēchování se u nás používá proto, že umožňuje přisazovat do směsi větší množství málo spékavých nebo i nespékavých uhlí, a to hlavně výhledově na budoucí poměry, kdy je nutno počítat se stále vyššími podíly těchto uhlí.

Při volbě typů pecí pro uhlí méně spékavá si je vždy nutno uvědomit, že cesta pro výrobu dobrého koksu z takových uhlí je dvojitá. A to buď rychlé koksování v úzkých pecích a sypném provozu, nebo pomalejší koksování v širších pecích a provozu pēchovaném.

3.1.4 Rychlost koksování

Koksovací doba, po níž probíhá karbonizace uhlí v komoře od počátku obsazení uhlí až po okamžik, kdy je vzniklý koks odplyněn (zralý) a připraven k vytlačení, je závislá na rychlosti prostupu tepla uhelnou vsázkou, neboli na rychlosti koksování. Odplynění vsázky v koksovací komoře je dosaženo v okamžiku, kdy teplota koksu uprostřed komory, tedy v místě švu, dosáhne nejvyšší teploty, to je asi 1000°C. Rychlost prostupu tepla je možné měřit buď přírůstkem teploty za minutu v určitém místě vsázky, nebo prostupem

tepla v mm/h. Protože je uhlí špatným vodičem tepla, jsou obě tyto hodnoty závislé na šířce pece a zahuštění vsázky a jsou tedy velmi proměnlivé. Vzestup teploty se pohybuje podle šířky pece a způsobu obsazování asi od 1,0°C/min do 4,5°C/min. Prostup tepla v mm/h se počítá z poloviční šířky uhelné náplně a koksovací doby. V provozu se těchto ukazatelů zpravidla nepoužívá a koksovací rychlost se posuzuje relativně podle koksovací doby.

Rychlost koksování je činitelem, který má vedle hustoty vsázky největší vliv na jakost koksu. Příliš rychlé koksování způsobuje menší kusovitost koksu. Proto se slévárenský koks, při němž se klade dosti značný důraz na kusovitost, vyrábí při teplotách o něco nižších, tedy za snížené rychlosti koksování.

3.2 Obsazování pecí



Obrázek č. 3: *Obsazená koksovací komora*

K výrobě koksu se používají koksárenské baterie. Podle způsobu obsazování se rozlišují baterie s pěchovacím a sypným provozem. Provoz se sypanou vsázkou je starší a spočívá v sypaní uhlí do 3 až 5 otvorů v klenbě koksovací komory z plnicího vozu, který pojíždí po stropě pecí. Sypná hustota uhlí v komoře je asi 730 kg/m³. Pěchovací provoz se provádí tak, že se upěchuje uhelný hranol vedle baterie a poté se vsune do komory ze strany. Zařízení k pěchování je spojeno s výtlačným strojem, pojíždějícím vedle baterie. Takovým způsobem se dosáhne zhuštění vsázky na sypnou hustotu uhlí až 1100 kg/m³.

Pěchování uhlí se zavádělo pro zlepšení vlastností koksu. Při moderních způsobech úpravy vsázky je však zpravidla pevnost koksu lepší v provozech se sypanou vsázkou. Z těchto důvodů a rovněž pro vyšší investiční i provozní náklady a nižší produktivitu práce se pěchovací provoz u nás ani jinde ve světě již nerozšiřuje. Výjimkou je výroba slévárenského koksu, kdy se pěchováním vsázky dosahuje požadovaného nízkého otěru a malé pórovitosti koksu. Nové baterie se proto stavějí se sypným provozem a s komorami velkého objemu, tzv. velkoprostorové baterie.[5]

3.3 Vytlačování koksu

Při sypném i pěchovacím provozu je postup při vytlačování koksu úplně shodný. Komory se obsazují a vytlačují v určitém pořadí, takže je známo, kdy se má určitá komora vytlačovat. Kontrolou ukončeného koksování a zralostí koksu je odpojení komory od předlohy a zapálení plynu unikajícího stoupačkou. Při dozrálém koksu je plamen krátký a bezbarvý, protože se vyvíjí už málo plynů, které obsahují hlavně vodík. Když je plamen dlouhý a svítivý, je ještě část vsázky nezkoksována a v koksování se musí pokračovat. Zralá komora zůstane odpojena od předlohy, až přijde na řadu vytlačování.

Přípravou k vytlačování komory je odstavení dveří na strojové i koksové straně. Po ukončení přípravných prací se přistaví výtlačný stroj. Výtlačná tyč je přesně před koksovým hranolem. Na koksové straně se před komoru přistaví vodící vůz, jehož koš se přisune těsně ke komoře. Současně se zajede ke komoře s hasicím vozem.



Obrázek č. 4: Vytlačený žhavý koks

Při vytlačování klade koks největší odpor na začátku, než se pohne hranol. Velikost tohoto odporu se registruje. Hnací mechanismus hnací tyče se při překročení maximálně přípustného zatížení automaticky vypne, aby se nepoškodil. Před dalším vytlačování se musí zjistit a odstranit příčina těžkého chodu pecí.[4]

3.4 Hašení koksu

Hasicí vůz je konstruován tak, aby se do něho vešla celá náplň žhavého koksu z jedné komory. Korba vozu je uvnitř vyložena litinovými deskami, odolné vůči vysokým teplotám. Aby se koks rozdělil stejnoměrně po celé délce vozu, musí se při vytlačování koksu pomalu pojíždět. Hasicí vůz se žhavým koksem je hned po vytlačení posunut pod hasicí věž, kde se koks uhasí vodní sprchou. Je stanoven hasicí čas, za který je koks dobře uhašen. Část vody se při hašení odpaří a uniká ve formě páry z komína hasicí věže, část zůstává v koksu a zbytek stéká do kanálů, z nich do usazovacích jímek, odkud se po vyčištění vrací zpět do oběhu. Aby z hasicí věže odcházela do ovzduší jen čistá pára, je komín vybaven filtry, které zachytávají pevné části. Zbylá voda v koksu se po uhašení odpaří na odkládací plošině.[3]

3.5 Třídírny koksu

Úkolem třídíren je roztřídění vyrobeného koksu na obchodní nebo smluvní druhy různých velikostí. Třídírny se dělí na hrubé a jemné.

V hrubé třídírně se třídí většinou na roštích z celkové výroby koksu vysokopecní a slévarenský koks, který se bez uskladnění v zásobnících přepravuje pásy a hned nakládá do železničních vozů nebo nákladních automobilů. Jemná třídírna zpracuje propad roštů, a třídí jej na další obchodní druhy, které jsou následně před expedicí dočasně skladovány v jednotlivých zásobnících. Prach (0–10 mm), Hrášek (10–20 mm), Ořech II (20–40 mm), Ořech I (40–60 mm).[3] Na každé koksovně však může být rozdělení různé.

4 VLASTNOSTI KOKSU

Kvalitu koksu je možné orientačně odhadnout už podle jeho vzhledu. Stříbrná barva je známkou kvalitního koksu a černá barva znamená nedokončené koksování. Takový koks je měkký a snadno se otírá. Pevnost koksu se dá posoudit podle malých trhlin nebo pádem koksu na tvrdou podložku, přičemž kvalitní koks se nemá rozbít.[7]

Tyto zkoušky jsou pouze orientační. Kvalitu koksu určují hlavně chemické vlastnosti (obsah vody, popela a prchavých látek), fyzikálně mechanické vlastnosti (pevnost a kusovitost) a normované zkoušky (Micum, Pádová zkouška, CSR-CRI).

CSR - pevnost koksu po reakci (Coke Strength after Reaction)

CRI - Index reaktivity koksu (Coke Reactivity Index)

Jakost vyrobeného koksu se hodnotí jen u slévarenského, vysokopecního koksu popř. otopového koksu. U ostatních druhů koksu (Ořech, Hrášek a Prach) většinou nejsou stanoveny žádné požadavky na jakost.

Prvním parametrem, kterým se od sebe liší vysokopecní a slévarenský koks je velikost zrna. Zatímco v případě vysokopecního koksu končí velikost kusu na 90 mm, v případě slévarenského naopak na 100 mm začíná. Vysokopecní koks se navíc vyrábí za jiných podmínek (vyšší teplota) a z jiných typů uhlí, které mohou obsahovat vyšší podíl prchavých látek. Proto zrno nenaroste do takové velikosti, jako je tomu v případě slévarenského koksu.

Kritéria, která slouží k hodnocení slévarenského a vysokopecního koksu, lze rozdělit do tří základních skupin:

- Chemické vlastnosti
- Fyzikální vlastnosti
- Fyzikálně chemické vlastnosti

Tabulka č. 2: *Vlastnosti koksu*

Chemické vlastnosti	Fyzikální vlastnosti	Fyzikálněchemické vlastnosti
Obsah neprchavého uhlíku	Mechanická pevnost	Reaktivnost
Obsah prchavých látek	Trhlinatost	Skutečná, zdánlivá a násypná
Obsah popela	Kusovost	měrná hmotnost
Obsah síry	Rozptýl kusovosti	Hořlavost
Obsah fosforu	Tvar kusů	Zápalná teplota
	Stupeň grafítizace uhlíku	Výhřevnost
	Pórovitost	
	Měrné teplo	
	Tepelná vodivost	
	Měrný elektrický odpor	

Podle fyzikálních a chemických vlastností se rozlišuje několik druhů koksu, přičemž vysokopecní a slévárenský koks jsou koksy vysoké kvality. Jako doplňkové palivo se při výrobě tekutého surového železa v menším rozsahu používají také další kvalitní druhy koksu – ořech a hrášek.

Vysokopecní koks plní ve vysokých pecích především úlohu redukčního činidla a zdroje tepla. Funguje rovněž jako nosný a výplňový materiál, kterým plyn cirkuluje ve sloupci vysokopecní vsázky.

Svémi vlastnostmi je vysokopecnímu koksu blízký slévárenský koks. V současné době slévárenský koks neslouží jen k výrobě litiny, ale je velmi žádaným palivem při výrobě izolačních materiálů na bázi čediče. Oproti vysokopecnímu koksu se liší zejména vyšší pevností a větší kusovostí. Vzhledem k jeho vyšším kvalitativním vlastnostem, lze slévárenský koks použít i při výrobě tekutého surového železa. Oproti tomu vysokopecní koks není bez úpravy technologie slévárenského procesu v plném rozsahu pro tavení litin použitelný.[10]

4.1 Chemické vlastnosti koksu

U koksu se sledují důležité chemické vlastnosti. Ty jsou dobrým ukazatelem jakosti vyrobeného koksu.

4.1.1 Anorganické složky koksu

a) Voda v koksu nesouvisí nijak s vlhkostí uhlí. Pochází z hašení žhavého koksu. Na obsah vody v koksu má vliv nestejnoměrné rozložení koksu na hasicím voze, způsob a doba hašení. Určitý vliv má také pórovitost koksu.

Dobře uhašený a odpařený koks obsahuje asi 6 % vody. Protože koks vyklopený z hasicího vozu obsahuje zrna různých velikostí, není obsah vody rozdělen stejnoměrně, ale stoupá od hrubých kusů koksu k drobným. Při hašení musí být dostatek vody na uhašení největších kusů, přičemž jsou drobná zrna vodou přesycena. Kusový koks nad 80 mm obsahuje 2 až 3 % vody, kostky asi 6 %, ořech II asi 12 %, hrášek asi 15 % a prach až 25 % vody. Obsah vody se zjišťuje u jednotlivých vyráběných druhů koksu sušením odebraných vzorků.

b) Popeloviny v koksu pocházejí převážně z popelovin vsázkového uhlí. Nepatrné zvýšení obsahu popelovin v koksu může způsobit příměs částic žáruvzdorného materiálu. Stanovuje se podobně jako při obsahu popela v uhlí, tj. zbytku při dokonalém spálení koksu. Obsah popela v koksu snižuje obsah hořlaviny a tím i výhřevnost. Dobrý koks má obsahovat méně než 11,5 % popela.

Popel v koksu je vždy škodlivou součástí při použití jako paliva i jako vysokopecní suroviny. Každé zvýšení popela o 1 % zvyšuje spotřebu koksu pro vysoké pece asi o 2 %, protože je nutné zvýšit množství vápence pro vázání některých složek popela do strusky.

c) Síra v koksu pochází také ze vsázkového uhlí. Zvýšení obsahu síry o 0,1 % zvyšuje spotřebu koksu ve vysoké peci o 1 %.[4]

4.1.2 Hořlavina koksu

Hořlavina koksu je na rozdíl od uhlí tvořena převážně uhlíkem, kterého je 96 - 98 %. Ostatní složky hořlaviny (vodík, kyslík, dusík a síra) bývá v koksu 0,5 - 1 %.

V koksu ve skutečnosti vždy zbude určitý podíl prchavé hořlaviny, jejíž množství závisí na konečné teplotě koksu v komoře a na odstavné době komory. Čím vyšší byla konečná teplota koksu a čím déle byl ponechán koks v komoře po jejím odstavení od předlohy, tím nižší je obsah prchavé hořlaviny v koksu. Dobře uzrálý koks obsahuje 0,7 - 1,2 % prchavé hořlaviny.

c) Spalné teplo a výhřevnost koksu jsou dány obsahem uhlíku, proto se od sebe příliš neliší. Výhřevnost koksu je tedy dána hlavně obsahem vody a popela.

4.2 Fyzikálně mechanické vlastnosti koksu

Při předběžném hodnocení koksu se posuzuje jeho barva, velikost a tvar. Při tomto hodnocení se dá poznat, jestli je koks dobře vyzrálý, velký nebo drobný, celistvý, dobře spečený, popraskaný atd. Koks, který byl vyroben z nevhodné uhelné směsi, je už na první pohled nevzhledný, je nedozrálý a otírá se v ruce. Křehký nebo příliš popraskaný koks se při pádu z rukou na tvrdou podložku rozpadá. Tvrdý a pevný koks má naproti tomu málo trhlin a při vhození na tvrdou podložku se nerozpadne.

Při technickém hodnocení z hlediska fyzikálně mechanického se stanovuje kusovitost koksu, stejnoměrnost a čistota třídění, sypná váha, mechanická pevnost a trhlinitost koksu.

4.2.1 Kusovitost a stejnoměrnost třídění

U slévárenského koksu je kladen důraz na větší kusovitost, u vysokopecního koksu mohou být kusy menší. Velikost a třídění vysokopecního koksu působí na odpor, který klade vsázka ve vysoké peci procházejícím plynům. Příliš velké kusy vysokopecního koksu nejsou výhodné, protože mají v poměru ke své váze malý povrch a hoří v peci pomalu. Naproti tomu příliš drobný koks způsobuje velký odpor plynů ve vysoké peci.

Proto je u vysokopecního koksu důležitá stejnoměrná velikost koksu a dává se přednost koksu, který je tříděn v úzkých mezích, v němž je rozpětí mezi nejmenšími a největšími kusy co nejmenší.

4.2.2 Mechanická pevnost koksu

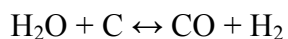
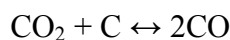
Mechanická pevnost koksu je odolnost proti roztržení a otírání u nárazů při nakládání a na přesypech. Mechanická pevnost se zjišťuje jen u vysokopecního a slévarenského koksu. Čím je koks proti mechanickým vlivům odolnější, tím lépe vyhovuje požadavkům odběratele. Pevnost koksu v otěru se provádí v bubnech různého provedení a konstrukce.

Pro zjišťování prosevů je nejběžněji používaná bubnová zkouška MICUM. Podíly jednotlivých tříd koksu se váží a vyjadřují v procentech původního vzorku.

Vysokopecní koks musí mít vysokou výhřevnost a dobré mechanické vlastnosti, ze kterých se hodnotí hlavně otíravost. Nároky na pevnost koksu se zvyšujícím objemem vysokých pecí zvyšují. U slévarenského koksu jsou na pevnost kladeny přísnější nároky.

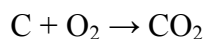
4.3 Fyzikálně chemické vlastnosti koksu

Reaktivnost je schopnost koksu redukovat oxid uhličitý nebo vodní páru na oxid uhelnatý podle rovnic:



V hutnictví se rozumí pod pojmem reaktivnost koksu redukce CO_2 na CO podle první rovnice.

Spalitelnost koksu se rozumí naproti tomu oxidační schopnost koksu při hoření na CO_2 podle rovnice:



Reaktivnost se tedy zakládá na oxidaci koksu v prostředí CO_2 , spalitelnost na hoření koksu v prostředí vzduchu. Obě tyto vlastnosti koksu spalitelnost a reaktivnost spolu vzájemně souvisí. Se stoupající reaktivností stoupá i spalitelnost.

4.4 Vlastnosti slévárenského koksu

Zkoušení chemických, fyzikálně chemických i mechanických vlastností slévárenského koksu se provádí stejnými metodami jako u vysokopecního koksu. Požadavky na slévárenský koks jsou však o něco vyšší.

Všeobecně se od slévárenského koksu žádá nízká reaktivnost, která je odůvodněna tím, že koks má při průchodu kuplovnou co nejméně redukovat CO_2 na CO (co nejméně zplyňovat). Musí projít ve stavu neporušeném a reaktivně nedotčeném až do spodní části (nístěje) kupolové pece a tam se spalovat s dmýchaným vzduchem na CO_2 . Slévač vyžaduje od dobrého koksu vysokou teplotu vypouštěné litiny při současně malé spotřebě koksu.

U slévárenského koksu se kromě nízké reaktivnosti klade důraz na nízký obsah popela, prchavé hořlaviny a síry, vysokou výhřevnost, malý obsah vody, dobrou mechanickou pevnost a kusovitost koksu.

Na ostatní vlastnosti, jako obsah popela, prchavé hořlaviny a mechanickou pevnost, se kladou u slévárenského koksu vyšší požadavky než na vysokopecní koks. Týká se to i kusovitosti koksu, kde však dřívější nároky na nadměrně velké kusy ustupují spíše požadavkům stejnoměrné velikosti kusů. Pro velké kuplovny se dodává zpravidla koks větší, pro menší kuplovny i koks menší.

Tabulka č. 3: *Vlastnosti slévarenského koksu*

Vlhkost	Méně než 4,0 %
Obsah popela	Max 11,5 %
Obsah veškeré síry	Max 0,8 %
Obsah prchavé hořlaviny	Max 1,2 %
Pevnost pádem	Nejméně 80 %
Pevnost v bubnu Micum	Nejméně 75 %
Pórovitost koksu	40 - 45 %

Slévarenský koks se většinou vyrábí v pecích s provozem pýchovaným. Dosahuje se tím zvýšené pevnosti a měrné váhy koksu. V uhelné směsi se používá podstatně vyšší přísada koksového uhlí (až 70 %), než se používá ve směsi určené pro výrobu vysokopecního koksu. Obsah prchavé hořlaviny bývá u těchto směsí kolem 22 %. Osvědčuje se několika procentní přídavek koksového prachu jako ostřidla za předpokladu, že je prach rozemlet na zrna pod 1 mm. Koksovací teplota je o 50 - 100°C nižší tj. 900 - 950°C než teplota u vysokopecního koksu. Tím se prodlužuje koksovací doba. Dosáhne se tím vyžadované kusovitosti a celistvosti koksu, současně však vyššího procentuálního výtěžku slévarenského koksu z celkové výroby koksu. Snížením výkonu, pýchováním uhlí a sestavováním zvláštních uhelných směsí se zvyšují náklady slévarenského koksu v poměru s vysokopecním.

ZÁVĚR

Bakalářská práce je zaměřena na studium odborné literatury související s výrobou koksu.

Koks se vyrábí v koksovnách z určitých druhů černého uhlí, a to jeho tepelným rozkladem za nepřístupu vzduchu. Tento druh pyrolýzy se nazývá karbonizace uhlí.

Hlavní výrobní střediska koksoven se dají shrnout do těchto bodů:

- **Příprava uhelné vsázky** - Začíná vykládkou praného uhlí a zahrnuje uskladňování, homogenizaci (zprůměrování), dávkování, mletí a míchání jednotlivých druhů uhlí na koksárenskou vsázku, dopravu a ukládání v uhelných věžích.
- **Koksárenské baterie** - Do tohoto střediska se zahrnují práce s odebráním uhlí z uhelných věží, plnění komor, údržba a vytápění pecí, obsluha předlohy, vytlačování a hašení koksu až po vysypání uhašeného koksu na šikmou rampu.
- **Třídírny koksu** - Zde patří obsluha koksové rampy, třídění koksu v hrubé a jemné třídírně, doprava a nakládání vytříděných druhů koksu.
- **Chemická část koksovny** - Chlazení a doprava plynu, jeho odsávání, doprava a odstraňování dehtové mlhy. Je zde i zařízení pro rozdělování kondenzátů z plynu na dehet a čpavkovou vodu. Ve čpavkárně se získává čpavek z plynu i ze čpavkové vody a zpracovává se na síran amonný. Připravuje se získávání síry a výroba tekutého čpavku, případně jeho likvidace. V chemické části koksovny se dále nachází benzolka, která obsahuje zařízení na koncové chlazení plynu a vypírání benzolu. Je zde i zařízení pro výrobu surového benzolu nebo naftalenu.

Využití koksu je velmi rozmanité. Hrubý koks spotřebují vysoké pece (vysokopecní koks) a také slévárny (slévárenský koks). Drobnější druhy koksu slouží k bezdýmnému topení v průmyslu i domácnostech.

Výrobků, majících základ v koksárenství je mnoho. Některé chemické výrobky jsou určeny k přímé spotřebě (např. síran amonný jako hnojivo v zemědělství, koksárenský plyn jako palivo), hlavně jsou však důležitými surovinami pro chemický průmysl, který zpracovává surový dehet, benzol a naftalen na pohonné látky, oleje, maziva, rozpouštědla, čisté chemikálie apod. Dále se získávají jako konečné výrobky plasty, silniční a jiné asfalty, nátěrové hmoty, barviva, léky a výbušniny.

Výroba koksu znamená vždy zhodnocení uhelné suroviny. Proto je na celém světě, a tedy i u nás, snaha využít uhlí vhodné pro koksování k výrobě koksu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOZINA, A. – PÍŠA, M. – ŠPLÍCHAL, B.: *Koksárenství*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1973. 476 s. L14-C3B-IV-31/47698/VII.
- [2] RIEDL a kol.: *Plynárenská a koksárenská příručka*. Praha: SNTL, 1962, ISBN 04-422-62.
- [3] KOZINA A., PÍŠA M.: *Koksárenství*: SNTL, Praha, 1958
- [4] TICHÁNEK F.: *Tepelné zpracování nerostných surovin I*. 1.vyd.: Skripta VŠB-TU Ostrava, 1991, ISBN 80-7078-073-8.
- [5] PÍŠA, M.: *Výroba koku*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1978. 248 s. L14-B1-III-31/41764.
- [6] KUCKOVÁ, A. – FRÖLICOVÁ, M.: *Výroba koku*. 1. vyd. Košice: Technická univerzita, 2005. 144 s. ISBN 80-8073-226-4.
- [7] KALOČ M.: *Koksárenství a jeho alternativa*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská 1998. 184 s. ISBN 80-7078-601-9.
- [8] KALOČ M.: *Koksárenské tabulky a diagramy*: Skripta VŠB-TU OSTRAVA, 1986.
- [9] OKD: *Koksovatelné uhlí a koksování* [online]. [cit. 2014-03-19]. Dostupné na WWW: <http://www.okd.cz/cs/tezime-uhli/uhli-tradicni-zdroj-energie/koksovatelne-uhli-a-koksovani>
- [10] OKK Koksovny, a.s.: *Metalurgický koks* [online]. [cit. 2014-03-19]. Dostupné na WWW: <http://www.koksovny.cz/vyrabime-koks/metalurgicky-koks/>

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázky

Obrázek č.1: Koksovna Svoboda

Obrázek č.2: Kladivový mlýn

Obrázek č.3: Obsazená koksovací komora

Obrázek č.4: Vytlačený žhavý koks

Tabulky

Tabulka č.1: Označení uhlí podle indexu puchnutí

Tabulka č.2: Vlastnosti koksu

Tabulka č.3: Vlastnosti slévárenského koksu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Schéma technologických linek uhelné služby na koksovně Svoboda

Příloha č. 2: Schéma uhelné služby koksovny Jan Šverma

Příloha č. 3: Schéma 6. třídírny koksu na koksovně Svoboda

Příloha č. 4: Klasifikace černého uhlí podle ČSN 44 1390 (1960)

